

UDK 625.85.001.3

Primljeno 25. 2. 2008.

# Tehnološki postupci izrade nosivih slojeva kolničkih konstrukcija

Tomislav Šolić, Slaviša Rajić

## Ključne riječi

kolnička konstrukcija,  
nosivi sloj,  
tehnološki postupci,  
stabilizacija cementom,  
postrojenje za miješanje,  
tlačna čvrstoća

## Key words

pavement structure,  
base course,  
technological procedures,  
cement stabilization,  
mixing plant,  
compressive strength

## Mots clés

structure de chaussée,  
couche de base,  
procédés technologiques,  
stabilisation au ciment,  
centrale de malaxage,  
résistance à la  
compression

## Ключевые слова

мостовая,  
технологические  
способы,  
стабилизация  
цементом, установка  
для смешивания,  
прочность на сжатие

## Schlüsselworte

Fahrbahnkonstruktion,  
Tragschicht,  
technologische Verfahren,  
Zementverfestigung,  
Mischanlage,  
Druckfestigkeit

T. Šolić, S. Rajić

Stručni rad

## Tehnološki postupci izrade nosivih slojeva kolničkih konstrukcija

Opisuju se dvije osnovne metode proizvodnje mješavine cementne stabilizacije primjenjene pri izradi nosivih slojeva kolničkih konstrukcija: proizvodnja u postrojenjima za miješanje i proizvodnja na mjestu ugradnje. Prikazana su novija iskustva u primjeni tih dviju metoda. Analizirani su rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća mješavina pripremljeni po obadva postupka. Izneseni su neki problemi i iskustva vezani uz sastavne materijale za pripremu mješavina cementne stabilizacije.

T. Šolić, S. Rajić

Professional paper

## Technological procedures used in construction of base courses on road pavements

The authors describe two basic methods that are used in the production of cement stabilization mixes for road-pavement base courses: production at mixing plant and on-site production. Some recent experience in the use of these two methods is presented. Compressive strength test results obtained on mixes prepared according to both procedures are analysed. Some problems and experience relating to components used in the preparation of cement stabilization mixes are presented.

T. Šolić, S. Rajić

Ouvrage professionnel

## Les procédés technologiques de construction des couches de base de chaussées routières

Les auteurs décrivent deux méthodes de base qui sont utilisées dans la production des mélanges de stabilisation au ciment pour les couches de base des chaussées routières: production dans la centrale à béton et production sur le chantier de construction. Les expériences récentes dans l'emploi de ces deux méthodes sont présentées. Les résultats de résistance à la compression obtenus pour mélanges préparés selon les deux procédés sont analysés. Certains problèmes et expériences avec les composants utilisés dans la préparation de mélanges de stabilisation au ciment sont présentés.

T. Шоліч, С. Рајич

Отраслевая работа

## Технологические способы изготовления конструкций мостовых

В работе описываются два основных метода производства смеси цементной стабилизации при изготовлении мостовых: производство в установках для смешивания и производство на месте установки. Показаны новейшие опыты в применении тех двух методов. Анализированы результаты испытания прочностей на сжатие смесей, приготовленных по обоим способам. Вынесены некоторые проблемы и опыты, связанные с составляющими материалами для подготовки смеси цементной стабилизации.

T. Šolić, S. Rajić

Fachbericht

## Technologische Herstellungsverfahren für die Tragschichten der Fahrbahnkonstruktionen

Man beschreibt zwei grundlegende Herstellungsverfahren für das Gemisch der Zementverfestigung, angewendet bei der Herstellung der Fahrbantragschichten: Herstellung in Mischanlagen und Herstellung "mixed in place". Dargestellt sind neuere Erfahrungen bei der Anwendung dieser zwei Verfahren. Analysiert sind die Ergebnisse der Prüfung der Druckfestigkeit der nach beiden Verfahren hergestellten Gemische. Dargelegt sind einige Probleme und Erfahrungen im Zusammenhang mit den Aufbaurohstoffen für die Vorbereitung der Gemische für die Zementverfestigung.

Autori: **Tomislav Šolić**, ing. građ.; **Slaviša Rajić**, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za prometnice, Odjel za stručni i tehnološki nadzor, J. Rakuše 1, Zagreb

## 1 Uvod

U posljednjih smo petnaestak godina bili svjedoci intenzivnoga razvoja cestovnih prometnica u Hrvatskoj. Tijekom gradnje autocesta u kontinentalnom dijelu Hrvatske, u kolničke konstrukcije prometnica ugrađivani su nosivi slojevi stabilizirani cementom (u daljnjem tekstu CNS). Primjena CNS-a na gradilištima hrvatskih autocesta zapravo je nastavak njihove kontinuirane primjene započete izgradnjom zagrebačke obilaznice odnosno tadašnje autoceste Zagreb – Beograd krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća.

Danas zahvaljujući ovim nedavnim opsežnim građevinskim pothvatima gotovo da i nema veće cestograđevne tvrtke u Hrvatskoj koja nije ugrađivala CNS, a većina njih sasvim je solidno opremljena i za proizvodnju CNS-a («protočne» betonare, grejderi, finišeri, valjci). Sve navedeno odnosi se na CNS-ove izvedene miješanjem sastavnih materijala (zrnat kameni materijal, cement, voda) u stacioniranim postrojenjima za miješanje (betonarama), odnosno tzv. „mix in plant“ tehnologijom. Međutim, što je s postupkom miješanja sastavnih materijala na mjestu ugradnje odnosno tzv. „mix in place“ tehnologijom izrade CNS-a? Naime, u skladu s vrijedećom normom HRN U.E9.024 [1] i Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama [2] (u daljnjem tekstu «OTU» 2001.) pri izgradnji autocesta odnosno cesta vrlo teške skupine prometnog opterećenja dopuštena je isključivo primjena „mix in plant“ tehnologije izvođenja CNS-a.

U prilog ograničenju primjene „mix in place“ tehnologije idu i zaključci stručnog rada objavljenog još 1981. pod naslovom „Cementnom stabilizirani nosivi slojevi –

Osvrt na novi standard i novija iskustva izrade“ [3] u kojem autor konkretnim rezultatima terenskih ispitivanja zaključno daje prednost „mix in plant“ prema „mix in place“ metodi rada, argumentirajući svoj zaključak homogenijim i kvalitetnijim nosivim slojem izrađenim „mix in plant“ postupkom.

No, kakva je situacija danas? Nisu li razvojem moderne tehnologije kod suvremene građevinske mehanizacije stvorene pretpostavke za mogućnost izrade kvalitetnijih CNS-a „mix in place“ tehnologijom. Tijekom 2006. na gradilištu državne ceste D-41, dionica Vrbovec – Gradec na prijedlog izvođača Strabag d.o.o., primijenjena je „mix in place“ tehnologija izrade CNS-a. Tehnološki elaborat za primjenu „mix in place“ tehnologije izradilo je poduzeće TPA d.o.o. koje je tijekom izvođenja sloja provodilo tekuću kontrolu kvalitete. U isto se vrijeme na gradilištu autoceste Zagreb – Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, i u približno istom opsegu radova izrada CNS-a odvijala „mix in plant“ tehnologijom. Radove je izvodilo poduzeće „Cesta – Varaždin“ d.d.

Namjera je ovog rada, usporedbom najnovijih iskustava iz prakse i rezultata ispitivanja s navedenih gradilišta, pokušati odgovoriti na prethodno navedena pitanja o kvaliteti CNS-a. Također, imajući na umu stručni rad [3], usporedit ćemo iznesene rezultate ispitivanja CNS-a s rezultatima ispitivanja s nedavno aktualnih navedenih gradilišta.

## 2 Primijenjeni materijali za izradu nosivih slojeva stabiliziranih cementom

Mješavine za izradu CNS-a sastoje od znatog kamenog materijala, cementa i vode

Tablica 1. Analiza rezultata ispitivanja drobljenih kamenih materijala

Svojstvo	Metoda ispitivanja	Jedinica	Rezultat		Kriterij ocjene (OTU 2001.)
			"Špica" - Ljubešćica	"Straža" - Đurmanec	
Gustoća	HRN U.B1.014	Mg/m <sup>3</sup>	2,744	2,752	-
Približno određivanje onečišćenja organskim tvarima	HRN B.B8039	-	svjetlija od uobičajene		svjetlija od uobičajene
Granulometrijska krivulja	HRN U.B1.018	-	slika 1.	slika 2.	-
Koeficijent nejednolikosti, U=d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub>		-	48,94	26,9	
Udio čestica manjih od 0,02 mm		mas %	3	2,46	
Najveći promjer zrna		mm	88	36	
Optimalna vlaga	mod. Proctor s dodatkom 2 % cement	%	5,3	3,0	
Maksimalna suha prostorna masa		Mg/m <sup>3</sup>	2,312	2,310	
Oblik zrna	HRN B.B8048	%	10,8	3,9	najviše 40
Upijanje vode	HRN B.B8031	%	0,7	0,95	najviše 1,6
Postojanost na mraz metodom Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HRN B.B8044	%	1,3	0,47	najviše 12
Trošna, nekvalitetna zrna	HRN B.B8037	%	0,8	0,93	najviše 7
Otpornost prema drobljenju i habanju po metodi Los Angeles	HRN B.B8045	%	21,5	27,5	najviše 45

### 2.1 Zrnati kameni materijal

Na oba gradilišta (državne ceste D-41, dionica Vrbovec – Gradec i Zagreb – Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj) za izradu CNS-a primijenjeni su drobljeni zrnati kameni materijali čija je pogodnost za izradu CNS-a ustanovljena *prethodnim ispitivanjima*. U sklopu prethodnih ispitivanja određena su sljedeća svojstva znatih kamenih materijala prikazana u tablici 1.[4]:

Primijenjeni drobljeni kameni materijal za izradu CNS-a kontinuirano su se proizvodili u kamenolomima «Špica – Ljubešćica» i «Straža – Đurmanec» usporedno s radovima na izvedbi CNS-a na trasama gradilišta (slike 1. i 2.). Problemi koji su se tijekom izrade CNS-a javljali vezano za kameni materijal iz kamenoloma «Špica – Ljubešćica» odnosili su se na odstupanje granulometrijske krivulje drobljenoga kamenog materijala u odnosu na materijal s kojim su priređeni *prethodni sastavi (recepture)* za izradu CNS-a. Normalno je očekivati da će tijekom proizvodnje drobljenoga kamenog materijala u kamenolomima dolaziti do određenog variranja granulometrijskog sastava proizvedenoga (drobljenog) kamenog materijala u odnosu na granulometrijski sastav materijala s kojim su priređene recepture. No, u trenutačno valjanim propisima nije numerički definirano kolika su ta dopuštena odstupanja, već je u OTU 2001. – točka 5-02.1.5 [2] sljedeća formulacija: «*Ako dođe do bitne promjene svojstava bilo kojeg od sastavnih materijala..., ...mora se pristupiti izradi novog prethodnog sastava.*» Slijedom gore navedenoga na gradilištu državne ceste D-41, dionica Vrbovec – Gradec, izvođač je za drobljeni kameni materijal iz kamenoloma «Špica – Ljubešćica» koji je bitnije granulometrijski odstupao od materijala danog recepturom izradio novu recepturu (slike 1. i 2.).

U tehničkim uvjetima za autoceste, koji su trenutačno u izradi, ugradit će se jasno definirane granice unutar kojih može odstupati granulometrijska krivulja materijala u odnosu na onu usvojenu recepturom.

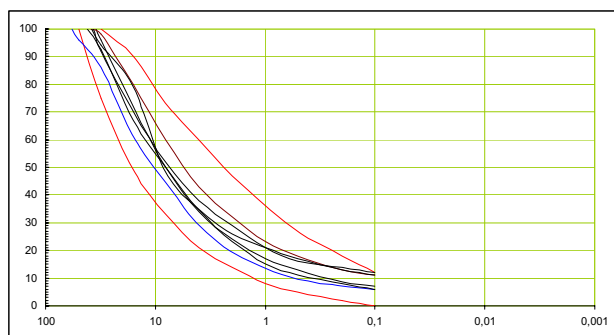
### 2.2 Vezivo

Iako se kao vezivo za nosive slojeve stabilizirane hidrauličkim vezivima mogu primijeniti i leteći pepeo, mljevena zgura i pucolani, danas se na našim gradilištima pri izvedbi CNS-a najviše primjenjuje čisti portlandski cement, cement s dodatkom pucolana ili zgure i metalurški cement razreda 25,35 i 45 prema HRN B.C1.011, odnosno u skladu s Tehničkim propisom za betonske konstrukcije, razreda čvrstoće 32,5 i 42,5 (prema HRN EN 197-1) [5]. Na gradilištu autoceste Zagreb – Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, primijenjen je cement CEM II/A-M (S-V) 42,5N proizvođača Našice-cement d.d. (certifikat o sukladnosti 1/05-ZOG-016 – IGH d.d.), dok je na gradilištu brze ceste D-41 primijenjen cement CEM II/B-M (V-LL) 32,5R proizvođača Holcim d.o.o. (certifikat o sukladnosti 1/05-ZOG-019 – IGH d.d.).

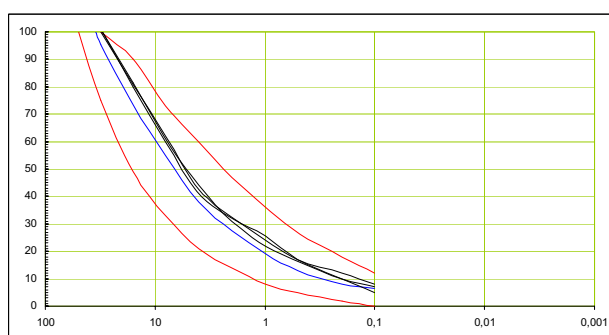
Osim tehničkih karakteristika hidrauličkih veziva (cementa) koje se namjerava primijeniti, iskustvo nam govori da je vrlo važno i na vrijeme ispitati njihovu dostupnost na tržištu, i to u onim količinama koje će moći pratiti dinamiku gradilišta. Ovdje valja istaknuti da se tijekom izrade CNS-a mogu primijeniti isključivo cementi s kojima su pripremljene recepture. Dakle, dođe li do bilo kakve promjene karakteristike cementa (razreda čvrstoće, proizvođača), potrebno je izraditi novi prethodni sastav. Dodamo li ovome da izrada prethodnog sastava prema HRN U.E9.024 [1] traje u najboljem slučaju minimalno 45 dana, jasno je zašto je vrlo važno pri odabiru proizvođača cementa na vrijeme ispitati njegove kapacitete.

### 2.3 Voda

U mješavini sastavnih materijala za izradu CNS-a (zrnati kameni materijal, cement i voda), voda ima višestruku ulogu. Dodavanjem vode, a osobito izrazito suhom zrnatom kamenom materijalu i cementu kao vezivu, omogu-



**LEGENDA:** - granične krivulje za autoceste i ceste vrlo teškog prometnog opterećenja recepture  
- druga receptura gradilište: D41 dionica: „Vrbovec – Gradec“  
- granulometrije



Slike 1. i 2. Granulometrijske krivulje primijenjenih drobljenih kamenih materijala

čuje se njihovo međusobno kvalitetno povezivanje u homogenu mješavinu. To se postiže stvaranjem tankog vodocementnog filma kojim su obavijena zrna kamenog materijala. Potom, vlaga u mješavini treba osigurati pravilnu i kontinuiranu hidrataciju veziva i konačno prilikom ugradnje mješavine cementne stabilizacije u sloj, optimalna količina vlage u mješavini ima ulogu «maziva» i smanjuje trenje između pojedinih zrna u mješavini. Na taj se način primjenom mehanizacije za ugradnju CNS-a postiže zadovoljavajuća zbijenost u sloju.

Pri izradi CNS-a može se bez prethodnih ispitivanja primijeniti pitka voda ili voda iz vodovoda. Na gradilištu državne ceste D 41, dionica: Vrbovec – Gradec, za izradu nosivog sloja stabiliziranog cementom upotrijebljena je voda iz otvorenih vodotoka, kanala Črnc i kanala Glogovnica. Rezultati ispitivanja vode prema zahtjevima iz «OTU» 2001. (točka 5-02.1.3) prikazani su u tablici 2. [6].

Tablica 2. Kemijska analiza vode iz potoka Črnc i kanala Glogovnica

Kemijska analiza	Rezultati ispitivanja		Zahtjevi prema OTU 2001.
	Kanal Glogovnica	Potok Črnc	
pH – vrijednost	7,62	7,59	> 6
Udio sulfata, izražen kao SO <sub>3</sub> (mg/l)	12,01	12,01	< 2700
Udio klorida, izražen kao Cl <sup>-</sup> (mg/l)	19,50	14,10	< 300
Pokazatelj organskih tvari (humusne kiseline, šećera i dr.) izražen kao utrošak (KMnO <sub>4</sub> )	21,08	11,19	< 200
Ukupni sadržaj soli, izražen kao suhi ostatak	350,00	383,00	< 5000

Primjena vode iz otvorenih vodotoka koje sedamnaest kilometara duga trasa gradilišta premošćuje na dva mjesta pokazala se vrlo praktičnom. Naime, s obzirom da se CNS izvodio «mix in place» tehnologijom (doziranje vode na mjestu ugradnje), znatno je smanjena transport-

na udaljenost vode potrebne za ugradnju, ali i za kasnije njegovanje sloja.

### 3 Laboratorijska ispitivanja mješavina za izradu cementom stabiliziranih nosivih slojeva – izrada prethodnog sastava (recepture) i dokaznoga radnog sastava

Nakon što su svi sastavni materijali ispitani i nakon što je kod svake komponente pojedinačno ustanovljena pogodnost za izradu CNS-a, može započeti laboratorijsko ispitivanje stabilizacijske mješavine.

Svrha je *prethodnog sastava (recepture)* utvrditi točnu količinu dodanog veziva (cementa) pri kojoj će stabilizacijska mješavina u potpunosti zadovoljiti zahtjeve kvalitete (tablica 3.) [4], a to su:

- tlačna čvrstoća nakon 7 i nakon 28 dana
- postojanost prema zamrzavanju - izražena indeksom smanjenja tlačne čvrstoće prema HRN.UB1.050.

*Dokazni radni sastav* služi kao dokaz da se na temelju *recepture*, na točno određenom postrojenju za proizvodnju stabilizacijske mješavine, može proizvesti kvalitetna stabilizacijska mješavina i da to postrojenje može pratiti eventualno potrebne manje promjene doziranja komponenata mješavine. Dokazni se radni sastav ne radi u slučaju proizvodnje mješavine na mjestu ugradnje (tzv. «mix in place» metoda), već se za isti usvajaju rezultati ispitivanja s probne dionice.

### 4 Tehnološko postupci izrade nosivih slojeva stabiliziranih cementom

Pri izradi CNS-a rabe se dva osnovna tehnološka postupka proizvodnje mješavine cementne stabilizacije:

1. proizvodnja u postrojenjima za miješanje (tzv. «mix in plant» tehnologija)
2. proizvodnja na mjestu ugradnje (tzv. «mix in place» tehnologija)

Tablica 3. Zahtjevi kvalitete za stabilizacijsku mješavinu

GRADILIŠTE - (Projektirano prometno opterećenje)	OTU 2001.g., točka 5-021.4			RECEPTURE						
	Tlačna čvrstoća (MN/m²) (HRN.UB1.030)		Otpornost na mraz (%) (HRN.UB 1.050)	Drobljeni kameni materijal	Cement	Voda		Tlačna čvrstoća (MN/m²) (HRN.UB1.030)		Otpornost na mraz (%) (HRN.UB 1.050)
	7 dana	28 dana				7 dana	28 dana			
Autocesta Zagreb - Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, (autoceste i ceste vrlo teškoga prometnog opterećenja	2,0 - 5,5	3,0 - 6,0	80	"Straža - Đurmanec" (slika 1.) 100 %	CEM II/A-M (S-V) 42,5N	5,3 %	4,4	4,8	97,9	
Državna cesta D41, dionica: Vrbovec - Gradec, (teško i srednje teško prometno opterećenje	1,5 - 5,5	2,5 - 6,0	80	"Špica - Ljubeščica" (slika 2.) 100 %	CEM II/B-M (V-LL) 32,5R 1,8 %	4,1 %	3,2	5,3	83	

U Hrvatskoj je primjena ovih tehnologija regulirana normom HRN U.E9.024. [1] i «OTU-om» 2001. (točka 5-02.2.1) [2] gdje je izričito navedeno da se mješavina cementne stabilizacije za izradu nosivog sloja autocesta i cesta vrlo teške skupine prometnog opterećenja treba proizvoditi u stacioniranim postrojenjima za miješanje, a postupak proizvodnje na mjestu ugradnje može odobriti nadzorni inženjer isključivo za ceste teškoga, srednjega i lakog opterećenja.

#### 4.1 Izrada nosivih slojeva stabiliziranih cementom «mix in plant» tehnologijom - autocesta Zagreb - Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj

Pod izradom nosivih slojeva stabiliziranih cementom metodom «mix in plant» podrazumijevamo sljedeće korake tehnološkog procesa:

- miješanje točno doziranih sastavnih materijala mješavine cementne stabilizacije u postrojenjima za miješanje do postizanja potpuno homogene mješavine
- transport mješavine cementne stabilizacije na mjesto ugradnje
- razastiranje mješavine na prethodno pripremljenu podlogu
- zbijanje razastrte mješavine u sloj sredstvima za zbijanje (valjci, kompaktori) do postizanja maksimalne zbijenosti
- njegovanje sloja do prekrivanja sljedećim slojem kolničke konstrukcije (minimalno 7 dana od dana ugradnje).

Mješavine cementne stabilizacije, u najvećem broju slučajeva kod većih količina i kod kontinuiranog izvođenja nosivog sloja stabiliziranog cementom, proizvode se na postrojenjima za miješanje kontinuiranog tipa (tzv. «prototčnim» betonarama), a ako se radi o manjim količinama mogu se primijeniti i postrojenja za miješanje bubanjskog tipa. Na ovom je gradilištu proizvodnja mješavine cementne stabilizacije tekla na postrojenjima za miješanje kontinuiranog tipa *Marini*, kapaciteta 200 t/h (slika 3.)



Slika 3. Postrojenje za proizvodnju stabilizacijske mješavine kontinuiranog tipa

Proizvedena stabilizacijska mješavina prevozi se na mjesto ugradnje kamionima kiperima, gdje se razastire na prethodno pripremljenu podlogu (obično mehanički stabilizirani nosivi sloj). Razastiranje se provodi grejderom (slika 4.) ili finišeom u debljini većoj od projektirane, i to toliko koliko je potrebno da se nakon zbijanja dobije sloj projektirane debljine.



Slika 4. Razastiranje cementne stabilizacije grejderom

Zbijanje sloja se provodi vibropločama, vibrovaljcima, valjcima s gumama ili kombinacijom navedenih strojeva za zbijanje. Nakon završetka zbijanja počinje razdoblje njegovanja sloja do izvedbe sljedećeg sloja (najmanje je propisano razdoblje 7 dana).

#### 4.2 Izrada nosivih slojeva stabiliziranih cementom «mix in place» tehnologijom – državna cesta D 41, dionica: Vrbovec - Gradec

Pod izradom nosivih slojeva stabiliziranih cementom «mix in place» tehnologijom podrazumijevamo sljedeće korake tehnološkog procesa:

- transport i razastiranje znatoga kamenog materijala na podlogu (slika 5.)



Slika 5. Razastiranje znatoga kamenog materijala



- predzbijanje zrnatog kamenog materijala
- doziranje cementa na predzbijeni sloj zrnatoga kamenog materijala
- miješanje komponenata strojem za miješanje uz doziranje vode
- zbijanje mješavine u sloj sredstvima za zbijanje (valjci) do postizanja maksimalne zbijenosti
- njegovanje sloja do prekrivanja sljedećim slojem kolničke konstrukcije (najmanje 7 dana od dana ugradnje).

#### 4.2.1 Primijenjena mehanizacija

Od mehanizacije specifične za izvođenje stabilizacija na mjestu ugradnje na gradilištu državne ceste D-41, dionica Vrbovec – Gradec, primijenjeni su razastirač veziva i stabilizator tla/recikler Wirtgen WR 2000. Razastirač veziva sastoji se od spremnika na dnu kojeg su transporter koji opskrbljuju dozatore veziva. Ukupno tri dozatora mogu zahvatiti širinu posipavanja do 2,5 m, međutim mogu se i isključivati iz rada nezavisno jedan od drugoga, što znači da se na taj način može regulirati širina posipavanja veziva. Količina doziranja veziva programira se elektroničkim putem, a senzorom na kardanskoj osovini vozila kontrolira se odnos brzine kretanja razastirača veziva i količine doziranja veziva. Radni kapacitet razastirača veziva jest 14 tona veziva po punjenju.

«Stabilizator tla» odnosno «freza» Wirtgen WR 2000 (slika 6.) ima široku mogućnost primjene. Prirodna tla (gline različitih plastičnosti) loše nosivosti i loših geomehaničkih svojstava može stabilizirati, ili tek reducirati udio vlage, miješanjem na mjestu ugradnje s vezivima kao što su vapno i cement. Wirtgen WR 2000. primjenjuje se pri izradi nosivih slojeva stabiliziranih cementom od zrnatoga kamenog materijala, pa sve do rekonstrukcija dotrajalih kolničkih konstrukcija recikliranjem prethodno izglođanih vezanih i nevezanih slojeva uz dodatak točno dozirane bitumenske emulzije ili «zapjenjenog» bitumena kao veziva [7], [8]. Stroj ima i mogućnost doziranja vode u svrhu postizanja optimalne vlažnosti mješavine. Najvažnije su tehničke karakteristike ovog stroja dane u tablici 4. [7].

Tablica 4. Tehničke karakteristike stroja Wirtgen WR 2000	
Radna širina	2.000 m
Radna dubina	0 - 500 mm
Snaga motora	295 kW / 401 KS
Težina stroja	22,900 kg
Broj kotača	4
Pogon glodaćeg bubnja	mehanički
Sistem vožnje i upravljanja	hidraulika / svi kotači



Slika 6. Wirtgen WR 2000

Stroj omogućuje potpun elektronički nadzor dubine glodanja, broja okretaja glodaćeg bubnja, količine dozirane vlage, brzine kretanja, poprečnoga i uzdužnog nagiba vozila, kao i o količini izvedenih radova izraženih dužinski, površinski odnosno volumenom.

#### 4.2.2 Rezultati ispitivanja provedenih na probnoj dionici

Kako bi se utvrdilo da je primjenom određene tehnologije i koristeći se raspoloživom mehanizacijom u mogućnosti kvalitetno izvesti CNS, izvođači su prije kontinuiranog početka izrade CNS-a izradili pokusne dionice. Kod „mix in place“ tehnologije probna dionica (slika 7.) na neki način predstavlja i izradu dokaznoga radnog sastava, tijekom kojeg se kontrolira i doziranje veziva (slika 8.), pa je njezino izvođenje neminovno. Dok kod „mix in plant“ tehnologije, ako izvođač ima dobra iskustva na izvođenju sloja, izvođenje probne dionice nije obvezatno. Rezultati kontrolnih ispitivanja probnih dionica nalaze se u tablici 5. [8].



Slika 7. «Mix in place» tehnologija izvedbe sloja



Slika 8. Kontrola doziranja cementa

Tablica 5. Rezultati kontrolnih ispitivanja probne dionice

Vrsta ispitivanja i mjerenja	Kriterij ispitivanja	Rezultati ispitivanja					
		"mix in plant"			"mix in place"		
		min.	maks.	sred.	min.	maks.	sred.
Tlačna čvrstoća 7 dana (mn/m <sup>2</sup> )	2,0 - 5,5 (1,5 - 5,5)	2,8	3,5	3,1	2,8	4,2	3,9
Stupanj zbijenosti (%)	≥98	98,8	100,2	99,5	98,1	103,8	99,7
Ravnost površine (mm)	≤15 mm (odstupanje od letve 4-m)	10	10	10	10	16	12
Debljina sloja (cm)	20 cm ± 15 mm	17,7	21,0	19,4	18,8	21,2	20,3

#### 4.3 Neke prednosti i nedostaci «mix in place» tehnologije u odnosu na «mix in plant» tehnologiju uočene na gradilištu državne ceste D41, dionica Vrbovec - Gradec

Glavni argumenti za primijenu «mix in place» tehnologije dolaze uglavnom od strane izvođača, a odnose se na pojednostavnjenje tehnološkog procesa i vrlo dobru dinamiku izvođenja radova. Naime, nema potrebe za privremenim odlaganjem znatoga kamenog materijala, već se on izravno iz nalazišta dovozi na trasu i razastire u sloj na prethodno pripremljenu i od strane nadzora preuzetu podlogu (tamponski sloj), što je ujedino i zaštita tamponskog sloja u slučaju duljeg stajanja, a osobito zbog loših vremenskih uvjeta. Također, isključuje se potreba za odlaganjem veziva (cementa) jer se ono od proizvođača dovozi i dozira izravno na mjestu ugradnje. Nema potrebe za uspostavljanjem «protočne» betonare primjena koje je uglavnom ograničena samo na proizvodnju mješavine cementne stabilizacije. Nedostatak je

s druge strane što se sloj mora dva puta predzbijati odnosno zbijati, i to oba puta na točno određenu visinu – prije miješanja (zbog točne dubine zahvata miješanja) i poslije u konačni sloj. Još je jedan nedostak nemogućnost izrade sloja do početka građevine (zidova upornjaka), tako da se u ovaj dio sloja mora ugrađivati prethodno pripremljena mješavina. S obzirom na kvalitetu izvedenog sloja, jedina do sada uočena prednost «mix in place» tehnologije jest ugradnja stabilizacijske mješavine u sloj neposredno nakon miješanja. Dakle vrijeme između miješanja mješavine i ugradnje u sloj, tijekom koje može otpočeti očvršćavanje mješavine, svedeno je na minimum. Potanko o kvaliteti izvedenog sloja bit će riječi u sljedećoj točki.

#### 5 Rezultati ispitivanja nosivog sloja stabiliziranog cementom – usporedba «mix in place» i «mix in plant» tehnologije

Tijekom proizvodnje odnosno ugradnje sloja potrebno je kontinuirano provoditi tekuća (osigurava izvođač) odnosno kontrolna (osigurava investitor) ispitivanja kvalitete mješavine, odnosno ugrađenog sloja. U sklopu tekućih i kontrolnih ispitivanja ispituje se:

- tlačna čvrstoća nakon 7 i 28 dana
- stupanj zbijenosti
- ravnost površine, točnost profila i debljina ugrađenog sloja

Tablica 6. Rezultati kontrolnih ispitivanja stupnja zbijenosti– mjere varijabiliteta

Stupanj zbijenosti	"Mix in plant" Autocesta Zagreb - Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj	"Mix in place" Državna cesta D-41, dionica: Vrbovec – Gradec
Aritmetička sredina	99,88	99,82
Standardna devijacija	1,49	1,96
Koeficijent varijacije	0,01	0,02

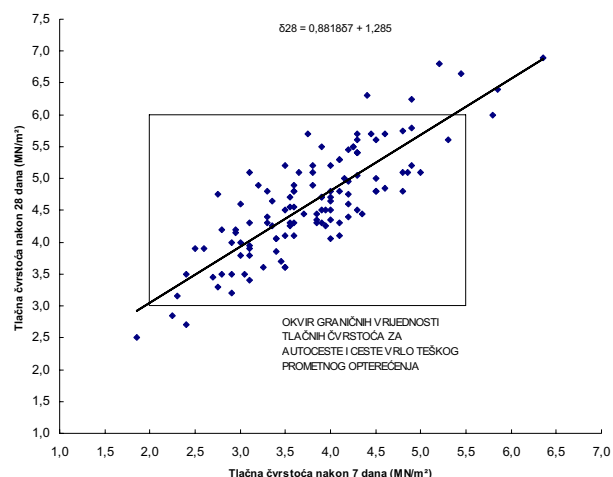
Tablica 7. Rezultati kontrolnih ispitivanja tlačnih čvrstoća – osnovni statistički parametri

Tehnologija izrade	"Mix in plant" Autocesta Zagreb - Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj		"Mix in place" Državna cesta D-41, dionica: Vrbovec – Gradec	
	7 dana	28 dana	7 dana	28 dana
Broj rezultata	119		105	
Aritmetička sredina	3,80	4,64	3,35	4,13
Medijan	3,85	4,60	3,25	4,00
Min	1,85	2,50	1,25	2,00
Maks	6,35	6,90	6,90	7,90
Raspon uzorka (maks-min)	4,50	4,40	5,65	5,90
Standardna devijacija	0,78	0,83	1,12	1,23
Koeficijent varijacije	0,21	0,18	0,34	0,30

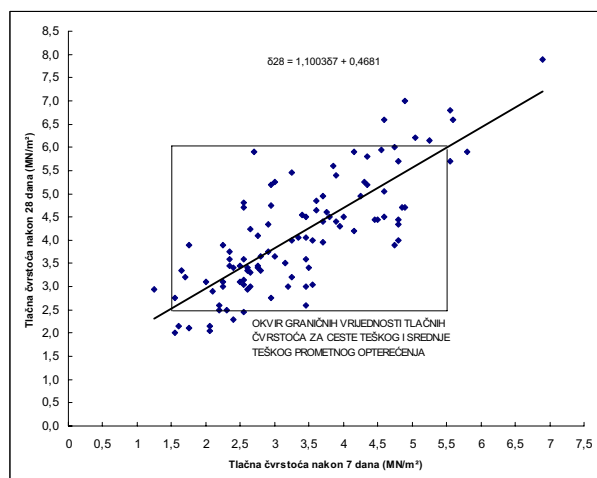
- granulometrijski sastav
- ispitivanje osnovnih parametara koji određuju kvalitetu veziva.

Tijekom dosadašnjih ispitivanja kao glavna razlika u kvaliteti sloja izvedenog «mix in place» i «mix in plant» tehnologijom isticala se homogenost sloja s obzirom na postignute tlačne čvrstoće. Na gradilištima autoceste Zagreb - Krapina – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, i državne ceste D 41, dionica: Vrbovec – Gradec, nije uočena bitna razlika među ostalim ispitivanjima. S obzirom da je postignuta homogenost sloja što se tiče stupnja zbijenosti vrlo dobra (tablica 6.) [10], u ovom poglavlju posvetit ćemo se isključivo analizi rezultata ispitivanja tlačnih čvrstoća.

Potrebno je istaknuti da je pri analizi rezultata ukupno promatrano oko 200 rezultata isključivo kontrolnih ispitivanja s oba gradilišta. U tablici 7. prikazani su osnovni statistički podaci za navedene rezultate [10].



Slika 9. Prikaz odnosa tlačnih čvrstoća nakon 7 i 28 dana za metodu "mix in plant" s graničnim okvirom prihvatljivih vrijednosti

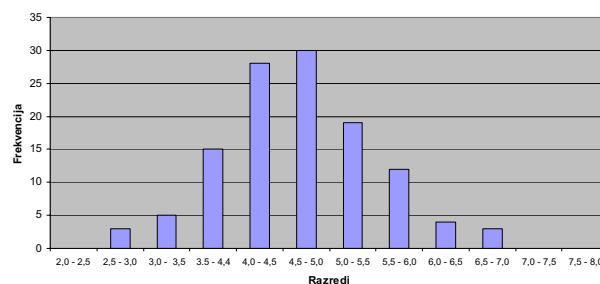


Slika 10. Prikaz odnosa tlačnih čvrstoća nakon 7 i 28 dana za metodu "mix in place" s graničnim okvirom prihvatljivih vrijednosti

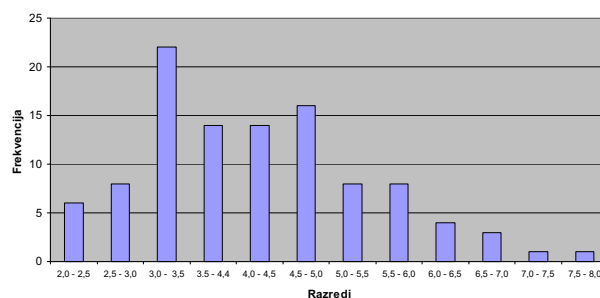
Zanimljivo je prikazati korelacijski odnos tlačnih čvrstoća nakon 7 i 28 dana s aproksimacijskim krivuljama i jednadžbama (slike 9. i 10.) [10]. Koeficijent korelacije za «mix in place» iznosi 0,85, a za «mix in plant» tehnologiju 0,81, što pokazuje značajnu koreliranost tlačnih čvrstoća nakon 7 i 28 dana.

Budući da je prema OTU za ocjenu kvalitete mješavine mjerodavna vrijednost koja se dobije ispitivanjem uzoraka starosti 28 dana (u okviru kontrolnih ispitivanja), kao osnova za daljnju analizu bila je tlačna čvrstoća nakon 28 dana.

Dobiveni su rezultati tlačnih čvrstoća nakon 28 dana podijeljeni u razrede, za svaku metodu posebno, i prikazani grafički (slike 11. i 12.) [10]. Na x-osi nalaze se razredi, a na y-osi frekvencija pojedinog razreda, tj. koliko opaženih vrijednosti ima u svakom pojedinom razredu.



Slika 11. Prikaz frekvencije pojedinih razreda za tehnologiju «mix in plant»



Slika 12. Prikaz frekvencije pojedinih razreda za tehnologiju «mix in place»

Dok kod «mix in plant» tehnologije primjećujemo grupiranje podataka oko dva razreda, 4,0 – 4,5 i 4,5 – 5,0, kod rezultata dobivenih «mix in place» tehnologijom takvo grupiranje ne primjećujemo. Odnosno, na grafikonu slike 11. lijevi i desni «rep» su tanki, što znači da je rubnih rezultata malo, dok kod grafikona slike 12. na rubnoj lijevoj strani postoji znatan broj opaženih rezultata, a na desnoj strani postoji pad u broju opaženih rezultata, ali pad je tek znatniji u rezultatima većim ili jednakim od 6,0. Sve to upućuje na veću raspršenost rezultata dobivenih «mix in place» u odnosu prema «mix in plant» tehnologiji.



Potom su analizirani osnovni statistički parametri za pojedinu metodu prikazani u tablici 8. Promatrane su mjere varijabiliteta, odnosno relativni pokazatelji raspršenosti rezultata, a to su: raspon uzorka, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Iz tablice se vidi da su mjere varijabiliteta kod «mix in place» tehnologije znatno više, što pokazuje veću raspršenost među rezultatima dobivenim tom tehnologijom.

Interesantno je usporediti koeficijente varijacije dobivene ovom analizom s onima iz 1981. prikazane u radu *Cementom stabilizirani nosivi slojevi - Osvrt na novi standard i novija iskustva izrade* [3].

Tablica 8. Mjere varijabiliteta rezultata tlačnih čvrstoća iz 1981. odnosno 2006. godine

Tehnologija izrade	"Mix in plant"		"Mix in place"	
Godina	1981.	2006.	1981.	2006.
Standardna devijacija	1,70	0,84	2,08	1,24
Koeficijent varijacije	0,30	0,18	0,40	0,30

Iz tablice 8. vidi se da su mjere varijabiliteta za svaku tehnologiju znatno niže, odnosno da je općenito sloj, što

## IZVORI

- [1] Norma HRN U.E9.024., 1980g.
- [2] «Opći tehnički uvjeti za radove na cestama», Knjiga 3., kolnička konstrukcija, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 2001.
- [3] Mintas, I.; *Cementom stabilizirani nosivi slojevi – Osvrt na novi standard i novija iskustva izrade*. Ceste i mostovi 27 (1981.)6, 165 – 171.
- [4] Izvještaji o pogodnosti materijala i prethodnom sastavu nosivog sloja stabiliziranog cementom (Izvještaj br. 2753-72/06, 2753-650/05, 2753-651/05 - IGH d.d., 5588/05. – CSS d.o.o.)
- [5] Rosković, R.; *Prezentacija: Novo građevinsko tehničko zakonodavstvo RH – TPBK – Prilog C (Cement)*. HAC d.o.o., Plitvice, 2005.
- [6] Izvještaji o ispitivanju vode (Izvještaj br. 2140-VO-05/06 i Izvještaj br. 2140-VO-06/06) – Arhiva IGH d.d., Zagreb
- [7] [www.wirtgenamerica.com](http://www.wirtgenamerica.com)
- [8] Wirtgen – Cold recicle manual, WirtgenGmbH, 2001.
- [9] Izvještaji o izvedenim probnim dionicama (Izvještaj br. 31/2007 i PS-59/2007 – TPA d.o.o., 2406/05. – Cesta Varaždin)
- [10] Izvještaji o kontrolnim ispitivanjima nosivog sloja stabiliziranog cementom (Izvještaj br. 2740-065/07, 25\_3/07, 25\_2/07\_1006, 25\_1/05\_1006, 25\_2/05\_1006, 25\_3/05\_1006 - IGH d.d., Zavod za prometnice)

se tiče homogenosti, s obzirom na postignute tlačne čvrstoće kvalitetnije izveden. To bi se moglo pripisati prvenstveno stečenom iskustvu u radu na proizvodnji i ugradnji nosivih slojeva stabiliziranih cementom.

## 6 Zaključak

Na osnovi grafičkih i statističkih analiza rezultata ispitivanja prikazanih u točki 5. i rezultata ispitivanja iz 1981. godine, možemo zaključiti da je općenito, bez obzira na primijenjenu tehnologiju izrade, poboljšana kvaliteta izvođenja CNS-a. Treba, međutim, primijetiti da je i danas, kao i početkom 80-ih godina, ostala razlika između kvalitete sloja izvedenog „mix in plant“ i „mix in place“ tehnologijom što se tiče mjera varijabiliteta tlačnih čvrstoća. Možemo stoga i dalje „mix in plant“ tehnologiju izrade sloja smatrati kvalitetnijom i dati joj, u tom smislu, prednost ispred «mix in place» tehnologije.

Svakako bi trebalo, bude li za to prilike, pratiti daljnje radove na izvođenju nosivog sloja stabiliziranog cementom i analizirati rezultate, kako bi se s većom sigurnošću mogli definirati bilo kakvi konačni zaključci.